



新 能 源 及 高 效 节 能 应 用 技 术 丛 书

绿色电源 ——电子设备电源管理

技术与解决方案

周志敏 纪爱华 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



新 能 源 及 高 效 节 能 应 用 技 术 丛 书

绿色电源 ——电子设备电源管理 技术与解决方案

周志敏 纪爱华 编著

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

绿色电源 : 电子设备电源管理技术与解决方案 / 周志敏, 纪爱华编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2010.1

(新能源及高效节能应用技术丛书)
ISBN 978-7-115-21738-7

I. ①绿… II. ①周… ②纪… III. ①电子设备—电源—管理 IV. ①TN86

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第199524号

内 容 提 要

本书结合国内外电子设备电源管理技术的发展动向和应用实践,系统地阐述了电子设备电源管理技术和解决方案,主要包括现代电源应用技术、现代电池管理技术、USB 电源管理技术、系统电源管理技术以及电子设备电源管理与解决方案等。

本书内容新颖实用,文字通俗易懂,具有较高的实用价值,可供电子、信息、航天、军事、家电等行业从事电子设备电源开发、设计和应用的工程技术人员阅读,也可供高等院校相关专业的师生参考。

新能源及高效节能应用技术丛书

绿色电源——电子设备电源管理技术与解决方案

- ◆ 编 著 周志敏 纪爱华
责任编辑 刘 朋
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19.5
字数: 473千字
印数: 1—4 000册
- 2010年1月第1版
2010年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-21738-7

定价: 39.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

丛 书 前 言

近几年，我国政府在新能源开发、环境保护和资源节约方面相继出台了一系列方针政策和法律法规，实施了“金太阳”、绿色照明等一批重点工程，收到了较大成效。从我国目前的情况来看，解决能源短缺问题主要应从两方面入手：一是开发和利用新的能源，尤其是可再生清洁能源；二是提高能源的利用效率，即能效。

新能源是国家“十一五”规划重点要求发展的产业，政策对其扶持力度很大。2009年3月，由科技部、国家发展和改革委员会等部门联合举办的2009年中国国际节能和新能源科技博览会上集中展示了节能减排和新能源科技的重大成果，引起了国内外的广泛关注。2009年5月全国财政新能源与节能减排工作会议指出，国家财政要全力支持新能源发展和节能减排工作，重点抓好支持风电规模化发展、加快启动国内光伏发电市场、开展节能与新能源汽车示范推广试点等十项工作。从技术的角度看，太阳能、风能等新能源的一些关键技术已经成熟并具有较高的推广价值，以发光二极管、IGBT等为代表的高效半导体器件的制造工艺已取得重大突破，变频器、软启动器、伺服驱动器等节能设备的节能效果日益得到了社会各界的认可并获得广泛应用。

为了在我国进一步推广和普及绿色能源及高效节能技术的应用，我们结合当前技术热点和应用热点，组织有关专家、学者和技术人员专门编写了“新能源及高效节能应用技术丛书”。本丛书以介绍目前国内外绿色能源及高效节能领域内的新产品、新工艺、新技术和新方法为主，在编写时力求突出实用性和先进性，力争做到题材新颖，技术先进，内容丰富，具有较高的实用价值。我们希望本丛书的出版能够在解决我国绿色能源及高效节能技术应用中的一些实际问题，促进我国“十一五”规划确定的资源节约目标得以实现，推动全社会采用高效节能新技术和绿色能源，提高能源利用效率，保护和改善环境，促进经济社会全面协调可持续发展方面起到积极的推动作用。

前 言

电源管理技术也称作电源控制技术，它属于电力电子技术的范畴，是集电力变换、现代电子、网络组建、自动控制等多学科于一体的边缘交叉技术。电子设备的节能性在很大程度上取决于它的电源管理能力，性能优越、功能强大的电源管理方案能有效延长电子设备的待机时间。这样不仅会提升电子设备不间断工作的时间，还能使电子设备在保持最低能耗的同时继续正常工作，从而达到节能增效的目的。

随着电子设备的体积不断减小、性能日益提高和功能不断增强，人们对为其供电的电源以及所采用的电源管理技术也提出了更高的要求，包括持续降低待机功耗，改善功率因数，并实现高功率密度、高可靠性、高集成度、小尺寸、智能化、安全和低成本等。实现电子设备电源的高效率、高密度、高可靠性的基础是采用现代电源技术和高效的电源管理技术。现代电源技术和电源管理技术的发展趋势是在更小的硅芯片上集成更多的功能，同时以更高的设计灵活性实现更强的系统用电性能，而不会增加成本。现代电子设备的电源设计不但要考虑电源本身的参数设计，还要考虑系统电源设计、电源管理设计、热设计等方面。

本书结合国内外电子设备电源变换技术和电源管理技术的发展动向，主要介绍了现代电池、USB 电源和系统电源管理技术，着重介绍了微处理器、笔记本电脑、移动电话、便携式电子设备以及以太网交换机的电源管理解决方案。本书在写作上尽量做到有针对性和实用性，力求做到理论和实际相结合，使得从事电子设备电源和电源管理技术开发、设计、应用的工程技术人员从中获益。读者可以以此为“桥梁”，全面系统地了解 and 掌握电子设备电源设计和电源管理技术。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、纪达安、刘淑芬、纪和平等。本书写作过程中，在资料收集和技术信息交流方面都得到了国内外专业学者和电源管理芯片制造商的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，作者水平有限，书中难免有不足之处，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 现代电源管理技术	1
1.1.1 电源管理技术	1
1.1.2 嵌入式电源管理技术	12
1.2 电源管理技术面临的挑战和解决方案	14
1.2.1 电源管理技术面临的挑战	14
1.2.2 电源管理技术的发展趋势	18
第 2 章 现代电源应用技术	27
2.1 现代电源变换技术	27
2.1.1 现代电源变换器	27
2.1.2 电源变换器效率及散热技术	39
2.1.3 AC/DC 变换技术	46
2.1.4 高性能通用型电源 IC	53
2.1.5 最佳电源应用解决方案	55
2.2 系统电源应用技术	61
2.2.1 系统电源要求	61
2.2.2 动态控制上电和输出电压	65
2.3 分布式电源系统	69
2.3.1 分布式电源系统的结构和特点	69
2.3.2 中间总线结构	72
2.3.3 级联式分布式电源及热插拔技术	74
第 3 章 现代电池管理技术	81
3.1 电池管理技术	81
3.1.1 电池管理	81
3.1.2 锂离子电池管理技术	86

3.2	锂离子电池充电与保护解决方案	89
3.2.1	锂离子电池充电解决方案	89
3.2.2	锂离子电池保护电路	96
3.3	锂离子电池管理解决方案	105
3.3.1	TWL2213 充电管理与控制芯片应用电路	105
3.3.2	基于 BQTINY-II 的电源管理模块设计	112
3.3.3	BQ2057 充电管理芯片应用电路	115
3.3.4	BQ24××× 电池充电控制器/选择器	119
第 4 章	USB 电源管理技术	128
4.1	USB 电源与管理方案	128
4.1.1	USB 电源特性	128
4.1.2	USB 充电接口	137
4.1.3	USB 电源多功能管理方案	140
4.2	USB 电源管理器	143
4.2.1	USB 电源管理器 LTC4085、LTC4089 和 LTC4089-5	143
4.2.2	USB 电源管理器 LTC3555	145
4.2.3	USB 电源管理器 LTC4053	149
4.2.4	USB 电源管理器 LTC4008	151
4.2.5	USB 电源管理器 LTC4061/LTC4062	155
第 5 章	系统电源管理技术	168
5.1	系统电源的效率	168
5.1.1	系统芯片的功耗和电源管理	168
5.1.2	降低功耗与增强性能并举的电源管理技术	172
5.1.3	FPGA 的功耗优化设计	174
5.1.4	电源控制与排序	177
5.1.5	电源动态管理	186
5.1.6	动态电源管理技术的优化	195
5.1.7	数字方式的电源管理	198
5.2	电子设备电源管理技术	204
5.2.1	电子设备电源管理	204
5.2.2	功率管理设计流程	211
5.2.3	电子设备电源管理芯片	214
5.2.4	电压监测技术	219
5.2.5	电子设备电源电压监控芯片	225
第 6 章	电子设备电源管理与解决方案	233
6.1	微处理器电源管理与解决方案	233

6.1.1	微处理器电源管理技术	233
6.1.2	微处理器内核电源设计	238
6.1.3	DSP 应用系统的电源解决方案	245
6.1.4	ADSP21160 的电源管理解决方案	248
6.1.5	微处理器的可扩展电源管理方案	251
6.2	笔记本电脑电源管理与解决方案	253
6.2.1	笔记本电脑的电源系统	253
6.2.2	笔记本电脑电源管理设计	254
6.2.3	笔记本电脑的电源适配器	260
6.3	移动电话电源管理与解决方案	264
6.3.1	移动电话的电源系统	264
6.3.2	移动电话电源管理设计	268
6.3.3	移动电话低压芯片组的供电电源	276
6.3.4	用于下一代移动电话的电源管理方案	279
6.4	便携式电子设备电源管理解决方案	288
6.4.1	便携式媒体播放器的电源管理方案	288
6.4.2	高集成度蓝牙耳机电源管理方案	292
6.4.3	PDA 电源管理方案	293
6.5	以太网交换机中的电源管理与解决方案	296
6.5.1	以太网交换机中的电源管理	296
6.5.2	基于 LM5070 的以太网电源管理方案	299
	参考文献	302

第 1 章

概述

1.1 现代电源管理技术

1.1.1 电源管理技术

电源管理技术也称作电源控制技术，它属于电力电子技术的范畴，是集电力变换、现代电子、网络组建、自动控制等多学科于一体的边缘交叉技术，现今已广泛应用到工业、能源、交通、信息、航空、国防、教育、文化等领域。全球节能需求的不断提高、数字技术的不断进步、分布式电源结构的日益增加和电子设备必须遵守强制性能效规范的要求，连同便携式装置小型化、多功能的发展趋势是电源管理技术发展的推动力。

1. 电源管理技术的分类

(1) 模拟控制开关电源

开关电源具有体积小、重量轻和效率高的特点，广泛应用于以电子计算机为主导的终端设备、通信设备等几乎所有的电子设备中。虽然它的模拟控制技术发展了很多年，各方面都比较成熟，但其无法克服固有的缺点，即控制电路复杂，元器件比较多，不利于小型化的发展；控制电路一旦成型，很难修改，调试不方便；控制不灵活，复杂的控制方法也难以用模拟方法实现。

(2) 数字控制开关电源

数字控制开关电源的 A/D 变换器的速度和精度成反比，该开关电源有以下两种实现方式。

① 单片机通过外接 A/D 变换芯片进行采样，采样后对得到的数据进行运算和调节，再把结果通过 D/A 变换后传到脉冲宽度调制器（PWM）芯片中，实现单片机对开关电源的间接控制。

② 通过高性能数字芯片 [如数字信号处理器（DSP）] 对电源实现直接控制，数字芯片完成信号采样、A/D 变换和 PWM 输出等工作。由于输出的数字 PWM 信号的功率不足以驱动开关管，需通过一个驱动芯片进行开关管的驱动。

(3) 电源控制处理器

随着数字芯片和电源技术的发展，现在出现了为电源控制而开发出来的电源控制处理器。电

源控制处理器主要由高速 A/D 变换器、数字 PID（比例、积分、微分）补偿器和数字 PWM 输出电路 3 部分组成。反馈环路的控制由它来完成，中央处理器作为管理模块应用在电源上。

（4）KVM 电源控制（Power Control）

在北美和欧洲市场，相对普及的 Remote Reset 服务也被称为 Power Control，它们常应用在服务器异常、死机或远程管理操作失误导致无法连接服务器的场合。使用该服务，用户可以通过 Web 页面管理自用服务器的重启功能。国际上对于网络电源控制的应用起源于 20 世纪 90 年代。美国及加拿大地区（即北美地区）的数据中心将这项业务简称为 Remote Reset Port，这些数据中心对于这项功能的普及率已经达到了 85% 以上。它具有以下优点。

① 降低成本。只需要一组或少数几组键盘、显示器及鼠标就可以控制与管理许多台服务器。这不会降低硬件成本，还可以空出更多宝贵的空间，此外还能降低对电力与空调系统的需求。

② 提升企业连续性。允许以“独立于网络外”的方式访问公司的服务器及其他 IT 设备，即使企业网络本身出现故障，IT 人员仍然能够访问、控制及管理公司的服务器。

③ 不受限于硬件平台与操作系统。可以在不同的服务器环境（如 HP、IBM 及 Sun）中运行，可执行各种不同的操作系统，例如 Solaris、UNIX 或 Windows。

（5）网络电源控制器

网络电源控制器特别突出了产品的“智能”和“无人值守”的健康管理概念，它在国内外 KVM 电源控制最优成果的基础上，引入以太网、多途径无线网络、语音服务等新颖的通信手段，并使用自主研发的控制芯片以设置时间任务触发和条件任务触发的方式，构成了可远程管理和计划管理的电源分配单元，其优点如下。

① 把管理权更多地分配给用户，从根本上延长了用户各种服务的有效在线时间。这样既能保证最终客户重启服务器的时效性，又可以有效避免由于人工误操作而造成的损失，解决了原有服务对人工的依赖问题，而且电能、温度、湿度等供电和机房环境数据也可随时查看。同时，这也有利于终端用户对自己的设备管理情况进行实时了解，便于供需双方的透明监督。

② 减少利益各方的管理费用。实现无人值守式自监控服务，真正做到了时刻对虚拟设备的监控，缩短了设备异常时的自响应时间，减少了由于异常原因而导致的损失，从而推动了 IT 管理事业的进一步发展。

③ 高效、可靠。软件界面友好明朗，硬件组建和维护时间短，可集中布线，节约机柜空间。它同时兼有可靠的故障保持设计、单一设备点名或轮检灯点名功能、计划任务管理和日志查询及管理功能、温/湿度和供电状态显示功能、某些型号的液晶显示屏和查询触摸块功能等。

随着电源控制的网络化、远程化、智能化及其功能的模块化和全软件化，网络电源控制器将不可避免地被广大企事业单位、家庭及个人用户等接受和使用，它的以下两点特性将备受瞩目。

① 更易实现电源的网络化功能，同时降低成本。

② 产品的生产、调试过程大大简化，输出电压、保护点等参数均可由软件直接设定，无须人员调试，更加符合现代规模化生产节奏。

随着互联网在中国的普及，新一代的电源控制电路要提供时序、占空比控制、故障保护、

回路调节和电源开关控制等功能，而高电源效率、低待机功耗、高功率密度、高可靠性、高集成度和低成本是电源管理技术的发展趋势。鉴于新的通信和互联网要求是市场发展的必然选择，而公平有效的电源管理是企业全新发展的一个不可或缺的推力，因此，PowerBox 系列网络电源控制器将为新的 IT 行业健康发展提供更好的技术和管理支撑。

2. 电源管理技术与节能

电源管理的技术和方法日新月异，来自政策、环境和消费者的压力一起促使电子产品在增加功能的同时还要节能。当前，便携式应用的发展尤其迅速，其成长的动力主要来自于不断推陈出新的无线设备。移动电话、PDA、MP3 播放器、数码相机、便携式游戏机的体积越来越小，速度越来越快，功能也越来越多。为了确保令人满意的“通话时间”（电池使用时间），设计人员在电源子系统的设计上投入了大量精力。

功率转换和系统能量管理是影响便携式设备电池使用时间的两大主要因素。功率转换将电池电压有效地转换为需要的供电轨，而系统能量管理则根据应用的实时需求来优化系统能耗。

(1) 优化带来节能方案

功率转换要解决的是将稳压器的效率最大化。稳压器的效率等于输出功率除以输入功率，以百分比的形式表示。

$$\eta = P_{\text{OUT}}/P_{\text{IN}} = (V_{\text{OUT}} \times I_{\text{OUT}})/(V_{\text{IN}} \times I_{\text{IN}}) \quad (1-1)$$

功率转换效率现在已达到 90% 的级别，很难进一步提升。由于转换效率已经进入一个平台期，有必要寻找新的方法来节约系统能量。这就涉及能量管理领域。

以下两个等式给出了系统能量管理的必要性，其中的动态项包括电路电容 C 、供电电压 V_{DD} 及时钟频率 f ，第二个静态项由数字栅极的泄漏电流决定。在体积更大的设备中，动态项决定功率利用率。受电子设备小型化趋势的影响，静态项的重要性正在日益增加。在数字系统中，功耗可大致表示为：

$$P = C \times V_{\text{DD}}^2 \times f + V_{\text{DD}} \times I_{\text{LEAK}} \quad (1-2)$$

因此，消耗的能量约为：

$$E = C \times V_{\text{DD}}^2 + V_{\text{DD}} \times I_{\text{LEAK}} \times t \quad (1-3)$$

(2) 改进设计的现有技术

几乎所有的大尺寸数字系统都会采用一个或多个时钟门控策略，以避免不必要的时钟切换，并且许多系统都会在适当的时候关掉未用部分。处理引擎还利用空闲和休眠模式来节省能量。这种传统的能量管理技术可以定期或在需要时唤醒处理器，执行任务，然后回到低功耗状态。这些技术虽然有效，但并不经济，在需要对电路加电或同步时还会产生延迟。只有在不需要进行任何操作时，这些技术才会实现节能（即当处理器处于休眠模式时）。

新的节能技术是通过调节处理引擎的频率和电压来降低能耗的。能量是延长电池供电系统工作时间的关键所在。降低频率就会降低平均功耗，但不会降低用于完成特定计算任务所需的总能量。系统电压必须同时被降低以实现节能。动态电压调节（DVS）和自适应电压调节（AVS）都可以实现电压降低。

DVS 以预特征化配对方式调节电压和频率。美国国家半导体公司提供的电源管理 IC（PMIC）可以工作在 DVS 模式下，比如 LP3906 和 LP3907。DVS 可以节省功率和能量，同

时有一定的电压裕度，以适应工艺和温度有所不同的所有潜在系统。这种适应最坏情况的额外开销造成了非理想系统中的能量浪费。如果可以在系统级别关闭整个电源回路，控制回路就可以自适应调节电压，以实现最低的工作电压并节约最多的能量。

(3) 智能化能量管理方案

Power Wise 是一种系统级能量管理方法，可使电池供电设备实现自适应电压调节和状态控制。Power Wise 概念将闭环 AVS 与高速、串行电源管理总线融合在一起，允许处理引擎在任何工作频率、任何系统给定时间使用最小电压，以将动态能耗减到最少。

Power Wise 技术还具备偏置处理引擎阱电压的能力。由于 V_{DD} 被降低以最大限度地减少动态损耗，晶体管的阈值电压也必须被降低以维持高驱动水平。这增加了泄漏电流和静态功耗。泄漏电流可以通过反向偏置阱电压被减小；或者通过对其正向偏置，可以使同一 V_{DD} 保持较高的驱动水平。Power Wise 回路和阱电压偏置方法可以与 multi-VT 设计结合使用。

实现 Power Wise 闭环 AVS 的标准系统配置由处理引擎内的先进电源控制器 (APC)、PWI 从设备的 PMIC 以及连接两个组件的 2 线 PWI 串行总线构成。PMIC 为处理器提供不同电压。PMIC 提供的电压电平可以通过从 APC 内的 PWI 主设备向 PWI 从设备发送命令来调节。

APC 的任务是接收来自主处理器的指令，提供独立于 CPU 的电压控制机制，以及实时跟踪逻辑工作速度。APC 总是处于在用状态，并且不断监控系统的所有参数，系统温度、负荷、瞬变以及工艺变化等都会被监控。当 APC 得知频率将要发生变化时，它将确定在新频率下进行稳定系统工作所需的最小电压。在闭路中，APC 通过 PWI 接口向 PWI 从设备发送电压调节命令来将电压调节至适当的水平。

Power Wise AVS 技术有两种 APC 版本。APC1 用于简单的单电压域设计，而 APC2 用于更加复杂的多电压域系统。APC1 采用点到点 PWI 1.0 接口，而 APC2 采用主从设备之间的 PWI 2.0 总线接口。

美国国家半导体公司为 APC1 提供的标准 PMIC 产品有 LP5550、LP5551 和 LP5552。LP5550 包括一个 AVS DC/DC 稳压器和 3 个低压差线性稳压器 (LDO)；LP5551 则增加了另一个 DVS 式 DC/DC 稳压器、一个额外的 LDO，以及用于阈值调节应用中 N 阱和 P 阱连接的偏置稳压器。

LP5552 与 APC2/PWI 2.0 IP 封装兼容。LP5552 包含 2 个用于 AVS 或 DVS 设备的高性能开关稳压器以及 5 个 LDO，这 7 个稳压器都在一个小型的 36 凸点 μ SMD 封装中，每个稳压器都可以独立编程为所需的电压。

LP5552 中开关稳压器的开关频率为 3.6MHz。提高开关频率可以使输出滤波器使用数值更小的组件，如可选用典型值为 $1\mu\text{H}$ 的电感器和 $10\mu\text{F}$ 的陶瓷电容器。这些更小的值允许系统设计人员选择占位空间更小、垂直高度较低的部件，同时保持较佳的瞬变性能。整个电源系统的高度小于 0.85mm，产品可以设计得极其轻薄。

这些稳压器能够以最大 800mA 的直流电流工作，最高效率为 88%。稳压器在 0.6~1.235V 范围内（步阶为 5mV）进行数字编程。每个稳压器还有一个相关的记忆保持 LDO，可以对其进行编程，以跟踪稳压器的电压，或者用作一个独立的 50mA LDO。这两个记忆保持稳压器可以在 0.6~1.35V 范围内（步阶为 50mV）编程。

其余 3 个 LDO 为其他区域的供电设计带来了灵活性。有两个 300mA 输出 LDO，其中一个用于为 LP5552 甚至整个系统设置 I/O 信令环境。第三个 LDO 用于为 PLL 或模拟功能供

电, 能够提供 100mA 的连续输出电流, 而且所有这些 LDO 都可以进行数字编程。

LP5552 有许多附加信号, 允许将 LP5552 无缝集成到目标系统中。ENABLE 和 RESETN 可以用于系统中处理电源定序、寄存器空间重置以及全局电源开/关。PWROK 信号是一个指示器, 可以用于电源定序或上电复位生成。LP5552 还包括 3 个 GPO, 可以用作系统内的额外数字驱动器, 系统设计中可以参照 LP5552 的 I/O 电压将它们编程为漏极开路输出或推挽输出。采用 LP5552 可以大大简化系统设计, 最大限度地降低成本, 并且节省 PCB 空间。它采用了非常紧凑的封装, 可以满足便携式电源系统的大多数需求。通过与 PWI 2.0 主设备连在一起, 在闭环 AVS 模式下工作, 它可以在便携式设备中实现最大的能量节约。它还可以用于开路 DVS 应用系统, 系统的通信由没有 APC 的处理引擎上的 GPIO 位脉冲实现。

3. 电源管理技术与散热系统

旧的电源管理技术使用原始的时钟节流等方式, 以获得电源消耗的正比下降。时钟节流方式可使处理器全速运行或有效地降低速度。采用 Intel 公司的 Speed Step 技术的电源会根据两个运算点而变化, 为未来电能的增加提供更小的系统误差。Long Run 技术根据处理器的工作, 多重调节处理器的频率和电压。

随着计算机整体性能的提高, 各部件的运行频率也越来越高, 功耗随之加大, 散热成了一个很关键的技术问题。热量的排放关系着整个系统的稳定性及产品的使用寿命, 尤其是对笔记本电脑和一些小型的移动终端产品, 有效的散热有着非常重要的意义。

(1) 一级散热系统

双散热管系统由 3 部分组成: 双散热管、双散热板和金属支架。

① 散热管。散热管是最新的散热装置, 可以有效地将热量从一端传导到另一端。它长达 20cm 以上, 直径为 0.5cm, 里面有纤维和水, 管内抽成真空, 一端贴近 CPU, 另一端则远离 CPU 并外接散热片或带散热片的风扇。散热管的工作原理是: 在真空状态下水的沸点很低, 如果在管子的一端加热, 水就会蒸发, 把热量带到管子的另一端, 到另一端后水会冷却, 再流回去, 如此循环, 热量就不断移动到管子的另一端而散发。它的优点是没有移动式的部件, 全部部件都密封在内部, 不消耗电能, 因为是完全密封, 所以效率和可靠性高。

② 散热板。主机板的底部和上部各有一块金属散热板, 在 CPU 的位置有协助散热的系统接收来自处理器产生的热量并将其导入散热管。这些热量经由散热管沿着整块金属散热板传导。位于主机板上部的散热板和键盘接触, 热量就会从键盘排出。

③ 金属支架。除了双散热管和双散热板, 还有一个部分也接触到热源, 它就是外设接口的支架, 位于计算机后端和空气接触。所以, 也用这块金属将处理器底部产生的热量经由后面的外设连接部分传导出去。目前市面上有许多款笔记本电脑内部都采用了散热性能好且轻便的“镁铝合金”作为笔记本电脑的框架。

(2) 二级散热系统

笔记本电脑很薄, 把键盘装到主机板上时, 键盘底部就会和主机板接触。于是, 正好利用键盘底部将处理器产生的热量传导出去。键盘具有很大的面积, 底部由金属构成, 热量可经由键盘底部以对流方式散去。

4. 静态和动态电源管理

随着便携式产品的功能日益丰富, 人们对电源也提出了更高的要求, 从而导致电量消耗

显著加大，电池使用寿命相应缩短，设计人员面临着必须同时满足静态和动态电源管理需求的挑战。另外，模拟与数字基带处理器单元、中央处理器主机，尤其是各种新推出的图形及音频专用处理器等，无论是在先进性还是在集成度方面都在不断提升。随着产品功能的增多，IC 的集成度也在增加，因此需要更多的电源轨，或在同样数量的电源轨上施加更大的电源电流。

大多数便携式电子设备均使用标准的高性能锂离子电池（通常为单电池配置），鉴于电池电量有限，制造商不得不在下列两种情况中做出决断，要么为用户提供功能丰富的应用而牺牲电池的使用时间，要么牺牲应用功能的丰富性而确保较长的电池使用时间。但当今的消费者既希望获得高端产品，同时又要求电池具备超长使用时间。

（1）便携式电子设备中的动态电压

锂离子电池的电压范围是 3.0~4.2V。新的电池或未来的化学技术一方面将实现高达 4.5V 的电压，另一方面需要将放电截止电压降低至 2.7V。这就意味着可用的输入电压范围变得更宽，因而也就可以在该范围内添加更多的电压轨。

当今的系统电压轨通常低于 3V（如处理器内核电源、I/O 电源及内存电源）或高于 5V。这些电压轨通常由分立 LDO 或低功率 DC/DC 变换器、多通道 PMIC 或模拟基带（ABB）单元等产生。电源管理设计为各种处理器提供了必要的电压轨、正确的电压及电流。如果应用切换到“关闭”或预定义的“省电”模式，通常情况下所有的处理器及电源管理器件都会进入轻负载或待机模式。这样，电压电平将会降低，功耗也降至最低。在最佳情况下，每个 IC 仅消耗几微安的电流。上述情况是静态的，一旦电源管理设计完成，电压轨受到影响的可能性极小。

近期推出的分立式低功率降压 DC/DC 变换器及高集成度多通道 PMIC 已经具备了串行 I²C 接口能力。串行接口在分立电源管理器件中的使用，将使电压轨受到的影响进一步减小。通过将软件工具、处理器控制功能与串行标准 I²C 接口相结合，数字单元与模拟 PMIC 之间实现了前所未有的高性能信息变换，电压、电流以及功率的实时调整成为现实。另外，还可实现对电源管理及监控的软件控制，因而在现有的满负载到系统待机模式之间可以存在多种省电模式。

I²C 接口有 3 种不同的速率选项：标准 100kbit/s、快速 400kbit/s 以及高速 3.4Mbit/s。利用分立式低功耗 DC/DC 变换器或电源管理单元（PMU），设计中可以动态地精确调整分立电源管理器件的输出电压，进而调整任何处理器单元的内核供电电压。这种设计需要使用快速 DC/DC 变换器。例如，开关频率为 3MHz 以上的变换器可确保快速信号的瞬态响应。另外，低功耗 DC/DC 变换器或 PMU 应具备不同的工作模式，如脉冲频率调制（PFM）或强制 PFM，以便通过自调节或通过 I²C 控制信号进入某项工作配置。该设计可在不牺牲整体性能的情况下精确满足系统性能需求，因此，使每种工作条件或处理器模式的功耗均达到最低，从而延长电池的使用时间，减少器件发热量并增强整体系统性能。

（2）DC/DC 变换器及具有 I²C 接口的电源管理 IC

单通道低功耗 DC/DC 变换器 TPS62350 可支持所有 3 种 I²C 速度模式。采用微型 12 球栅芯片级封装（CSP）的降压变换器可在单个锂离子电池的输入电压范围内提供高达 800mA 的输出电流，效率达 90%。利用 I²C 接口可调整输出电压以支持最新一代的处理器及具有 12.5mV “微小步长”及最小输出电压为 0.6V 的电源轨。可编程 DC/DC 变换器有助于延长

3G 智能电话、PDA、数码相机及其他便携式应用的电池的使用时间。

借助 I²C 接口降低功耗的另一种方法是采用 TPS65020 器件。这种高度集成的 PMIC 具有 6 个输出信道、3 个低功耗 DC/DC 变换器以及 3 个 LDO，效率高达 97%。

I²C 可以动态地调整并测量通常为处理器内核供电的主 DC/DC 变换器的输出电压。另外两个 DC/DC 变换器可用于 I/O 电源、存储器或其他电源轨供电。此外，通过 I²C 也可以使不同的结构模块（如 IC 上的所有 3 个 LDO 或 DC/DC 变换器）在“开/关”之间切换，以减少整个 PMU 的功耗及发热量。通过“关闭”不同的结构模块也可动态降低静态电流的消耗。

另一种方法是使用 DC/DC 变换器的预设输出电压。TPS62400 是一款双通道的降压变换器，该器件不带 I²C 接口，但具有被称为 Easyscale 的单线接口。通过 Easyscale 可以在运行过程中访问并更改存储于 E²PROM 中的预定义输出电压。根据所选输出电压的范围（0.7~6.0V），电压步长（Voltage Step）可小至 25mV、50mV 或 100mV。

总之，动态电压测量可降低整体功耗、优化系统性能并延长电池使用时间。可根据器件的工作模式和温度变化等动态控制电压大小、频率及功率预算，以使电源系统更灵活。

现在便携式电子设备的摄像模块、音频放大器、内存卡以及其他子系统需要数倍于 3.1V、3.3V 或 3.6V 的电源电压。当电池电压超过目标电压轨时，根据定义，电源功率级需要降低电池电压；反之，则升高电池电压。有多种解决方案都可解决这一难题，如 SEPIC 变换器、反向变换器（Flyback Converter）或级联式升、降压变换器。每种解决方案都各有其自身的优劣势，但都无法同时实现最小的体积和最高的效率。

最新解决方案是近期推出的一款高集成度降—升压 DC/DC 变换器（TPS63000）。该变换器具有 4 个采用了独特控制设计方案的集成主电源场效应管（FET），解决了现有解决方案的效率降低问题，当电池电压与输出电压相同或相近（ $V_{\text{bat}}=V_{\text{rail}}$ ）时，优化后的效率最高可达 96%。与现有解决方案相比，其效率提高了 2%~6%。其次，更为重要的是这种效率优势能够体现在整个电池电压范围内。这样就实现了电池容量的最大化利用，从而显著延长电池使用时间，并最终带来超长的系统工作时间和待机时间。该款集成变换器采用 3mm×3mm QFN 封装，与 2.2μH 电感器的大小相同。为减少无源组件数，可预设输出电压（如 3.3V）来使总体组件数减少到 4 个（1 个 IC+1 个电感器+2 个电容器）。

便携式应用的电源管理技术正向效率更高、体积更小、更加灵活的方向发展。随着接口功能的推陈出新，新的控制方案、电源轨的快速控制、数字处理器及其模拟电源管理组件之间的通信都将实现全面的提升。

功率预算的实时调整、处理器省电方案的调整以及负载条件下电压轨的优化等都将使电池更加智能化。这对于延长应用的使用时间和电池使用时间等都极有帮助，并在用户使用系统所有功能的前提下显著延长待机时间、通话时间或播放时间。

5. 有源电源管理和无源电源管理

(1) 有源电源管理

片上电源管理技术主要适用于两类应用：管理有源系统功耗和管理待机功耗。有源电源管理分为 3 个部分：动态电压与频率调节（DVFS）、自适应电压调节（AVS）以及动态电源转换（DPS）。另一方面，静态功耗管理需要使空闲系统维持在一种低功耗状态。这种

电源管理使用所谓的静态漏电管理 (SLM) 方式, 其通常利用从待机到关机的数种低功耗模式。

在有源模式下利用 DVFS, 根据应用所要求的不同性能, 时钟频率和电压在软件中得到了降低。例如一款包括了先进 RISC 机器 (ARM) 和 DSP 的应用处理器, 即使 ARM 组件可以运行在高达 600MHz 的时钟频率下, 但却并非总是需要所有这些计算能力。一般而言, 软件会选择数个预定义处理器工作性能点 (OPP), 其包括确保处理器能够运行在满足系统处理要求的最低频率下的电压。在对满足不同应用要求的功耗进行优化的过程中, 为了获得更大的灵活性, 为处理器中的互连和外设预定义了一个单独的器件内核 OPP 集。

与给定的 OPP 相对应, 软件向外部稳压器发出控制信号来设置最低电压。例如, DVFS 适用于两个电压源 V_{DD1} (为 DSP 和 ARM 处理器供电) 和 V_{DD2} (为子系统和外设之间的互连供电), 同时这些电源轨提供芯片所需的大部分电量 (一般为全部所需电量的 75%~80%)。在通过将 DSP 转入一个 ARM 以高达 125MHz 时钟频率运行的低工作性能点完成对 MP3 解码的同时, 还可以有许多剩余电力用于完成其他任务。为了获得具有理想功耗的这种功能性, 可以把 V_{DD1} 降至 0.95V, 而非保证 600MHz 运行的 1.35V 最高电压。

第二种有源电源管理技术即 AVS。基于芯片制造和器件工作寿命期间出现的各种变化, 这种技术是相对于 DVFS 的, DVFS 中的所有处理器均具有相同的预编程 OPP。在大多数现有制造工艺中规定了芯片的工作频率范围, 以使芯片的性能符合一种特定的电源系统。相对于许多“冷”器件, 一些器件 (即“热”器件) 可以在较低的电压下达到规定频率。此时, AVS 便可以发挥作用, 处理器检测其自有性能水平, 并相应地调节各电压源。专用片上 AVS 硬件可实施一个反馈环路, 其并不要求处理器介入, 从而动态地优化电压电平来应对处理结果。温度影响硅芯片性能的变化曲线如图 1-1 所示。

图 1-1 显示了特定处理器的典型性能分布情况, 其中“冷”器件要求 0.94V 电压来实现以 125MHz 频率运行, 而“热”器件则只需要 0.83V 电压就可实现相同频率的运行。AVS 使用一个可相应调节电源电压的反馈环路, 这样单个器件便可以完成特定处理任务所需的频率运行。

在运行中, 软件为每一个 OPP 安排 AVS 硬件, 同时控制算法通过一条 I²C 总线向外部稳压器发送命令, 逐步递增或降低相应稳压器的输出, 直到该处理器刚好超出目标频率要求为止。

例如, 可以以一个适合于所有情况的电压和频率为目标开始进行设计 (图 1-1 中的 $V_1=0.95V$, 对应的频率为 125MHz)。但是, 如果一个使用 AVS 的“热”器件被插入该系统, 那么该片上的反馈机制就会自动地将电压降至 ARM, 即 0.85V 或更低 (图 1-1 所示的 V_2)。

前两种有源电源管理方法可获得理想速度下运行器件局部所需的最低工作电压, 相比之

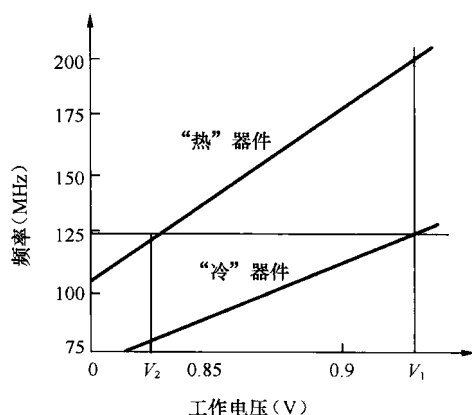


图 1-1 温度影响硅芯片性能的变化曲线

下,第三种方法 DPS 可确定器件何时完成其当前计算任务,如果当前并不需要,则将器件切换到低功耗状态。例如,在等待 DMA 传输完成时,处理器进入低功耗状态。唤醒时,处理器可以在数微秒时间内迅速返回到正常状态。

(2) 无源电源管理

DPS 只能将多媒体片上系统 (SoC) 的某一部分切换至低功耗状态,而在许多情况下将整个器件都切换至低功耗状态是颇具现实意义的(无论是无应用程序运行时自动切换还是根据用户要求切换)。为了达到这一目标,可以采用静态漏电管理 (SLM) 技术,其被用于启动待机或关机模式。一个关键的区别在于,在待机模式下可维持内部存储器和逻辑电路的状态,而在关机模式下所有系统状态均被存入外部存储器中。利用 SLM 后,唤醒时间比冷启动要短得多,因为程序已经被加载到外部存储器中,并且用户不必等待整个操作系统 (OS) 重新启动。

例如,具有 ARMCortex-A8 内核的 TIOMAP35×单芯片处理器器件便可实施关机模式(器件可自动唤醒的一种最低功耗模式)。除唤醒域外,所有功耗域均处于关闭状态。这样,仅在唤醒域中有一定的功耗,并且所消耗电量来自于 I/O 漏电流。在系统时钟被关闭的情况下,唤醒域以 32kHz 频率独立运行。TIOMAP35×还会自动将信号发送给外部稳压器,随后稳压器在这种深度睡眠状态下被关闭。处理器中的存储器或逻辑电路并未被维持。在进入关机模式之前,系统状态被存入外部存储器中,一次唤醒复位以后,微处理器单元 (MPU) 跳至用户定义功能,SDRAM 控制器配置从暂时存储器中得到恢复。

6. 电源管理技术的进步

由于更高的集成度、更快的处理器运行速度以及更低的价格目标,针对数字电视、线缆调制解调器以及机顶盒的负载点 (POL) 处理器的电源设计变得越来越具挑战性。多年来,随着集成度的提高和工艺技术的进步,设计旨在用于消费类电子应用的数字处理器和模拟 ASIC。现在,工艺技术的进步也可用于现成的负载点电源管理电路。电源管理设计所面临的挑战有选择最佳的输出电容,解决排序问题以及最少化部件数量等。解决这些问题的方法是利用可保持系统低成本的电源管理器件。

(1) 负载点消费类应用的典型电源架构

非便携式消费类电子设备都是由不同类型的 AC/DC 电源供电的。例如,线缆调制解调器是由一个简单的适配器供电的,而液晶电视则在其机壳中集成了一个具有功率因数校正 (PFC) 功能的、可提供数百瓦功率的比较复杂的电源。在上述每个 AC/DC 电源中,根据具有较大负载电流的系统所需要的最高 DC 电压,AC 电源可转换为常见的 DC 电压,如 5V、12V 或 24V。其负载可以是驱动器、冷阴极荧光灯管 (CCFL) 背光逆变器或调谐器模块。

(2) 双通道输出电源解决方案

将两个电源集成到一个芯片上,并采用引脚数量少的小型封装具有诸多好处。大多数应用都需要多个低电压轨来为逻辑电路供电。在这些应用中,双通道变换器可以将单个控制器和两个变换器的 MOSFET 组合在一个紧凑型器件中。许多 ASIC 和处理器都需要内核电压和 I/O 电压,这可能存在排序要求。一款双通道输出 DC/DC 变换器可以将电路集成,以实现输出电压排序要求。减少 DC/DC 变换器的数量可以从多方面节约成本。例如,由于 PCB 上焊接组件数量的减少加速了产品上市进程,简化了设计,降低了采购限制并提高了可靠性。